

**EVALUACIÓN Y MEJORA DEL PROCESO DE CONCENTRACIÓN POR  
CONGELACIÓN DE EXTRACTO DE CAFÉ EN PLANTA PILOTO, PARA LA  
PRODUCCIÓN DE CAFÉ LIOFILIZADO.**

**LAURA CAMILA GONZÁLEZ SUÁREZ**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
PEREIRA-RISARALDA  
2018**

**EVALUACIÓN Y MEJORA DEL PROCESO DE CONCENTRACIÓN POR  
CONGELACIÓN DE EXTRACTO DE CAFÉ EN PLANTA PILOTO, PARA LA  
PRODUCCIÓN DE CAFÉ LIOFILIZADO.**

**LAURA CAMILA GONZÁLEZ SUÁREZ**

**Práctica de Extensión**

**Director**

**JORGE MARIO MARULANDA LOAIZA**

**Ingeniero de Investigación y Desarrollo  
Buencafé Liofilizado de Colombia  
Federación Nacional de Cafeteros de Colombia**

**Codirector**

**PhD. JOSÉ LUIS TRISTANCHO REYES**

**Docente Facultad de Ingeniería Mecánica  
Universidad Tecnológica de Pereira**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
PEREIRA-RISARALDA**

**2018**

# TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	4
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	5
1.2 OBJETIVOS .....	6
1.2.1 GENERAL.....	6
1.2.2 Objetivos Específicos .....	6
2. MARCO TEÓRICO .....	6
2.1Crioconcentración .....	6
2.1.1    Crioconcentración por suspensión .....	7
2.1.2    Crioconcentración por película .....	7
2.1.3    Crioconcentración en bloque .....	8
2.2 Transferencia de calor y masa .....	8
2.3 Crioconcentración en la Producción de café soluble .....	8
3    METODOLOGÍA.....	9
4    RESULTADOS .....	10
4.1 Pruebas de crioconcentración en bloque por “Tarromaquia” .....	10
4.2 Pruebas de crioconcentración en bloque con serpentín. ....	12
5    ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	14
5.1 Concentración en bloque por “Tarromaquia” .....	14
5.2 Concentración en bloque con serpentín.....	15
6    RECOMENDACIONES.....	17
7    CONCLUSIONES .....	18
8    BIBLIOGRAFÍA .....	19
ANEXOS .....	20
Pruebas de crioconcentración con tarromaquia .....	20
Pruebas de crioconcentración con serpentín.....	28

# 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente el café es uno de los alimentos más consumidos y comercializados en el mundo, de allí viene su gran impacto en la economía de Colombia el cual es el tercer país productor de café en el mundo, por esta razón se hace necesaria una búsqueda continua para mejorar la calidad; en la empresa Buencafé Liofilizado de Colombia se produce café liofilizado, café soluble que busca día a día nuevas tecnologías con el fin de alcanzar estándares de mayor calidad.

La producción de café liofilizado consta de diversos procesos en donde cada variable influirá en el sabor, color y aroma del café; El control de temperaturas tanto altas como bajas, niveles de concentración de sólidos solubles o el tratamiento del agua que tiene contacto con el café, son variables fundamentales para lograr un café de alta calidad.

El procesamiento de café consta de varias etapas en donde se transforma la materia prima y se busca el mayor aprovechamiento del café. Inicialmente el café verde cosechado recientemente es recibido en la empresa para comenzar sus etapas de tostación y molienda, en donde se le dan características particulares de cada producto a realizar. Una vez culminados estos procesos, se iniciará la etapa de extracción en donde, con ayuda de agua a determinada temperatura se le sustraerán los sólidos solubles, que son elementos útiles para la producción del café. Cuando se obtiene la mayor cantidad de sólidos solubles se busca iniciar la etapa de secado, para facilitarla se implementa un método para separar y posteriormente retirar la mayor cantidad de agua posible, agua que no se utiliza para la elaboración del café, esta etapa es conocida como concentración (Existen dos métodos de concentración llamados evaporación y crioconcentración). Una vez concentrado el producto inicia la etapa de liofilización en donde se obtendrá el producto terminado.

El proceso de crioconcentración es un método de concentración que busca extraer la mayor cantidad de agua por medio de su enfriamiento, buscando la formación de cristales de hielo para facilitar la separación del café concentrado. Este proceso es utilizado en la empresa por las grandes ventajas que genera, alta calidad, poca alteración en el café y sus principales variables, además de lograr altos grados de concentración de sólidos solubles.

En el área de desarrollo e innovación de la empresa Buencafé Liofilizado de Colombia, se tiene una planta a escala con procesos similares a la planta industrial, en esta planta piloto se busca

estandarizar y optimizar el método de concentración del producto, ya que actualmente se tienen métodos ineficientes en resultados y en tiempos.

### ***1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA***

En el área de Desarrollo e Innovación de la empresa Buencafé Liofilizado de Colombia se requiere continuamente hacer prototipos de café liofilizado con diferentes calidades y especificaciones.

Generalmente se requiere como mínimo 2 kg de café liofilizado de este prototipo, para el cual se realizan procedimientos de tostación y molienda que tardan dos días en culminarse, para posteriormente iniciar con el proceso de extracción en donde se obtienen de forma líquida los componentes necesarios para producir el café, este proceso tarda otro día; luego del proceso anterior se realiza la concentración de este extracto líquido de café, donde se busca aumentar la concentración de los sólidos solubles presentes en el extracto, sin poner en alto riesgo la calidad del producto, esto se logra por medio de la crioconcentración que actualmente requiere de 3 días de trabajo y un operador en acompañamiento continuo; pasado los tres días y con un extraco de café concentrado, se realiza el proceso de liofilización, que tarda un día.

Un café liofilizado de planta piloto demora en total 6 días en obtenerse y necesita por lo menos un operador. Con base en lo mencionado anteriormente, se puede concluir que el proceso más crítico para la realización del prototipo es la concentración y que con un método mejorado o diferente de concentración se podrá reducir la cantidad de tiempo en obtener la muestra de café liofilizado, además de liberar el tiempo del operador y limitar la pérdida de café.

Se piensa que con la estandarización de los métodos actuales de crioconcentración se podrá ver los puntos clave para llevar los procesos a sus puntos más óptimos, ya sea controlando más las temperaturas y las masas, además de alguna mejora en el diseño de los equipos.

Como última opción se plantea la posibilidad de implementar un método diferente de crioconcentración que además de práctico arroje mejores resultados.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 GENERAL**

Estandarizar y mejorar el método de concentración por congelación de extracto de café de planta piloto del área de Desarrollo, con el fin de aumentar la eficiencia del proceso y obtener una mayor concentración en un menor tiempo y esfuerzo.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- ✓ Evaluar por medio de diversas pruebas el proceso usado actualmente de concentración en bloque llamado “*tarromaquí*”, determinando costos, eficacia y viabilidad.
- ✓ Evaluar por medio de diversas pruebas el proceso usado actualmente de crioconcentración con serpentín, determinando costos, eficacia y viabilidad.
- ✓ Buscar mejoras al método más efectivo utilizado en el proceso de concentración en frío de planta piloto, esto con el sustento, análisis y conclusiones de los ítems anteriores.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Crioconcentración**

La crioconcentración se basa en la separación de sólidos solubles de una solución mediante la congelación del agua que esta contiene. Cuando un alimento sólido o líquido se congela, no todos sus componentes se congelan a la vez. Lo primero en congelarse es el agua contenida en la mezcla, la cual, va formando cristales. La solución restante no congelada del alimento tiene ahora una concentración de sólidos más alta. La concentración de fluidos alimentarios mediante congelación, es un proceso muy selectivo que evita los problemas de pérdida de volátiles que suceden durante la evaporación y los problemas de frecuentes reposiciones propios de la tecnología de membranas. La concentración por congelación se beneficia de las ventajas derivadas de operar a bajas temperaturas: se puede aplicar a productos muy sensibles a la temperatura sin casi alterar sus características originales. La calidad de los productos tratados es similar a la de los procesados por ósmosis inversa, y superior a la de los productos concentrados por evaporación

El proceso de congelación implica la cristalización del agua contenida en la solución. La cristalización es la formación de partículas sólidas de una fase homogénea. Este proceso implica tres pasos: En primer lugar, la solución debe ser sometida a la sobresaturación o sobreenfriamiento. En segundo lugar, se necesita una nucleación o la producción de las primeras partículas estables. Finalmente, partículas de cristal crecen a su tamaño final en función de las

condiciones de temperatura. La nucleación heterogénea primaria se produce en superficies diferentes que el propio cristal, tales como la pared del recipiente o impurezas; Una vez se producen las semillas de hielo crecerán a través de un proceso conocido como la maduración. La cristalización juega un papel importante en el comportamiento de la tecnología de concentración por congelación. La separación se determina por las etapas de congelación y descongelación.

Existen tres técnicas de crioconcentración: suspensión, película y bloque. La única técnica disponible comercialmente a nivel mundial es la crioconcentración en suspensión. Esta es una técnica que logra altas eficiencias de separación pero los equipos requieren gran número de partes móviles por lo cual es relativamente costosa. Debido a esto se busca el desarrollo de técnicas más simples que a la vez consigan una alta eficiencia en la separación. La crioconcentración en película descendente y en bloque son nuevas técnicas que se han propuesto como alternativas más simples que pueden reducir costos operacionales.

### **2.1.1 Crioconcentración por suspensión**

La crioconcentración por suspensión es la técnica más utilizada a nivel industrial. Se compone de tres etapas la cristalización, la maduración, y la separación de los cristales de hielo. En primer lugar, la solución entra en un intercambiador de calor de superficie raspada; A continuación, los cristales pequeños se utilizan para formar una suspensión y estos cristales crecen en la etapa de maduración; Finalmente, los cristales de hielo se separan a través de columnas filtrantes y de lavado.

Esta técnica fue estudiada por primera vez por Huige y Thijssen (1972). La crioconcentración por suspensión es una técnica eficiente en términos de pureza de hielo y aumento de la concentración. Esta técnica permite concentrar el extracto de café hasta 32-35% de sólidos.

Sin embargo, esta técnica requiere sistemas complejos para la separación de hielo y muchas partes móviles, lo que aumenta los costes iniciales y de operación.

### **2.1.2 Crioconcentración por película**

La concentración por congelación de película consiste en la formación de una sola película de hielo sobre una superficie de enfriamiento. La separación del hielo es más fácil que en la técnica de suspensión, ya que la película permanece adherida a la superficie. Las etapas de crecimiento y separación de hielo se llevan a cabo utilizando el mismo equipo. La transferencia de calor se logra a través de la capa de hielo. Se han desarrollado dos opciones diferentes para la concentración de congelación de película: concentración de congelación de película descendente y concentración de congelación progresiva.

### **2.1.3 Crioconcentración en bloque**

El método de concentración por congelación en bloque, también conocido como concentración de congelación-descongelación, puede realizarse mediante congelación parcial o total. En la técnica de concentración total de congelación de bloques, la solución a concentrar se congela por completo y luego se descongela parcialmente para recuperar una fracción de líquido con una concentración más alta. En la técnica parcial, el hielo crece parcialmente y luego se separa del líquido restante. La concentración de congelación de bloques consta de tres etapas: congelación, descongelación y separación de la fracción líquida concentrada. Estas etapas definen la eficacia de la separación. El proceso puede repetirse en ciclos sucesivos para aumentar el índice de concentración.

La ventaja de esta técnica es que el fluido permanece estático y, en consecuencia, no hay necesidad de equipos complejos. Además, las tres etapas se pueden realizar en la misma unidad. Sin embargo, impone desafíos de investigación asociados a la capacidad de disminuir la oclusión de soluto y lograr una operación industrial viable.

## ***2.2 Transferencia de calor y masa***

La formación de cristales es esencialmente un proceso de transferencia de calor y masa. La transferencia de calor se debe a una diferencia de temperatura, por lo tanto, se presenta cuando existe falta de homogeneidad en la distribución de la temperatura dentro de un material o entre el material y lo que le rodea.

La transferencia de calor por las moléculas está presente en cierto grado en todos los sistemas en los que existen gradientes de temperatura y en los que están presentes moléculas de un sólido, líquido o gas.

La transferencia de calor por convección implica el intercambio de energía entre una superficie y un fluido adyacente, como es el caso de la crioconcentración y, la transferencia de masa implica la transferencia de especies en una mezcla, debido a una diferencia de concentración.

## ***2.3 Crioconcentración en la Producción de café soluble***

El café soluble o instantáneo es el polvo o granulado que queda luego de que al extracto de café se le ha retirado el agua.

El primer café instantáneo fue inventado y patentado por el químico japonés Satori Kato, en Chicago, hacia el año 1900. Algunos años después el inglés George C. Washington, mientras vivía en Guatemala, inventó el primer café instantáneo que luego fue producido a escala comercial.

Para obtener café soluble es necesario primero obtener la bebida mediante los procesos industriales de tostación, molienda y extracción. Cuando a la bebida de café se le retira el agua



mediante procesos de secado, se obtienen los sólidos solubles secos en forma de polvo o granulados.

Desde el punto de vista del proceso industrial, el café soluble se obtiene a partir del extracto de café. Para retirar el agua que hace parte del extracto se requieren fundamentalmente dos procesos industriales adicionales: la concentración y el secado.

La concentración consiste en reducir el contenido de agua en el extracto de café, típicamente desde un 85% a 90% hasta un 55% a 60% de agua. Hay diversos sistemas para retirar agua, y los más utilizados en la industria son la evaporación, realizada al vacío para que el agua se evapore a unos 45°C. En este proceso se usan intercambiadores de calor especiales donde se busca conservar las propiedades del café, calentándolo el menor tiempo posible y en forma muy homogénea.

La Crioconcentración es otro método de concentración que consiste en enfriar el extracto, usando agua, a una temperatura por debajo de 0°C. El agua pura forma cristales de hielo pero el café aún permanece en estado líquido; al retirar los cristales de hielo mediante filtros especiales, el extracto remanente queda con mayor concentración.

La forma y duración de los procesos de aplicación de calor, es uno de los temas más sensibles en la producción de café soluble, lo cual tiene un gran efecto sobre la calidad final de la bebida. De esta manera, en el método de crioconcentración — que es más costoso de producir que otros, los extractos reciben menos calor, lo cual reduce el riesgo de perder ciertos aromas y sabores. Por esa razón, una taza de café no debe ser recalentada, pues no tiene el mismo sabor que un café recién preparado.

### **3 METODOLOGÍA**

Se procederá a realizar determinadas pruebas de los dos procesos llevados a cabo actualmente de forma convencional, con el fin de estandarizar los tiempos, cantidades y concentraciones obtenidas.

Los métodos de crioconcentración en bloque por medio de los tarros y la descongelación por gravedad, y la concentración en frío por medio del serpentín serán evaluados por el tiempo en hora/trabajador, por la masa al final del proceso y por la concentración final.

La estandarización de estos métodos se realizará con el fin de comparar cuál de los dos métodos es el más eficiente para la concentración de extracto para los prototipos. Posteriormente se buscará una mejora para el método con mejores resultados.

Cada prueba para crioconcentrar en el serpentín se realizará con 18 litros de extracto (1 bidón) traído de la planta con concentraciones inferiores al 20% ° Brix; el proceso consiste en montar un bidón al equipo y enfriarlo súbitamente a -15°C hasta que se forme un bloque de hielo alrededor del serpentín, extrayendo el agua del extracto y quedando en el bidón extracto con sólidos solubles más concentrados, se retira el bidón y se medirá concentración. Este proceso se realizará repetidas veces hasta alcanzar la concentración deseada o saturarse.

Las pruebas de crioconcentración en tarros se realizará 21 litros de extracto traído de la planta industrial (7 tarros de 3 litros), dejándolo en el cuarto frío a -45 °C más o menos 12-15 horas con el fin de formar bloques de hielo de extracto y agua, posteriormente se voltean y por gravedad y diferencia de punto de congelación, el agua se separa del extracto obteniendo concentraciones más altas que la inicial, este proceso se realiza en repetidas ocasiones hasta lograr la concentración deseada.

Una vez realizadas las pruebas de estos dos procesos se entrará a comparar la viabilidad y se determinarán mejoras para el procedimiento más efectivo.

No se descartará la posibilidad de implementar un nuevo método de concentración por congelación, ya que se cuentan con equipos que pueden simular el método de concentración utilizado en la planta industria, concentración por suspensión, es un método complejo y costoso por sus equipos; pero en el caso de que ningún método usado actualmente en planta piloto de con los estándares mínimos se trabajará en esta posibilidad.

## **4 RESULTADOS**

### ***4.1 Pruebas de crioconcentración en bloque por “Tarromaquia”***

Se realizaron 20 pruebas de crioconcentración por tarromaquia, cada prueba realizada con 21 litros de extracto de café obtenido de la planta industrial con concentraciones desde el 13% hasta el 18% de sólidos solubles, este café se deposita en tarros de 3 kg para iniciar su proceso de cristalización y maduración de cristales, este proceso tarda alrededor de 15 a 18 horas, una vez esté completamente congelado, el extracto se lleva al laboratorio para empezar su proceso de descongelación, en dónde los tarros son volteados y puestos sobre recipientes para así compilar el extracto ya separado de agua ; generalmente este proceso se realiza unas 4 veces para obtener concentraciones finales de 30% - 36% de sólidos solubles.

Las pruebas se realizarán variando el tiempo de congelación y la cantidad de etapas, que son las variables más críticas del proceso ya que para poder realizar todo el proceso se necesita que las concentraciones estén en el rango; el tiempo de congelación es crítico porque es el mayor del proceso, es el cuello de botella que limita el envío de los prototipos.



Figura 1. Proceso de la tarromaquia

A continuación se mostrará la tabla de toma de datos de la primera prueba realizada:

PRUEBA 1					
Etapa	1	Etapa	2	Etapa	3
mi [kg]	21	mi [kg]	19,2	mi [kg]	16,21
ci [ss]	15,10%	ci [ss]	38,80%	ci [ss]	30,80%
miss [kg]	3,171	miss [kg]	7,450	miss [kg]	4,993
tc [horas]	18	tc [horas]	-	tc [horas]	-
td [horas]	2,5	td [horas]	2	td [horas]	1,5
mf [kg]	1,8	mf [kg]	2,99	mf [kg]	4
cf [ss]	38,80%	cf [ss]	30,80%	cf [ss]	28,11%
mfss[kg]	0,6984	mfss[kg]	0,9209	mfss[kg]	1,1244
		Resultados:	PRUEBA 1		
		mft [kg]	8,79		
		tt [horas]	24		
		cf [ss]	33%		
		mfss [kg]	2,7437		

Tabla 1. Toma de muestras de concentración con tarromaquia.

Donde:

<i>mi:</i> Masa Inicial extracto	<i>ci:</i> Concentración inicial del extracto	<i>miss:</i> Masa inicial solidos solubles
<i>mf:</i> Masa Final extracto	<i>cf:</i> Concentración final del extracto	<i>mfss:</i> Masa final solidos solubles
<i>tc:</i> Tiempo de congelación		<i>td:</i> Tiempo de descongelación
<i>mft:</i> Masa final total de extracto		<i>cft:</i> Concentración final del extracto total
<i>tt:</i> Tiempo total (Tiempo de congelación + descongelación)		<i>mtss:</i> Masa total de sólidos solubles

Se realizaron 12 pruebas para determinar la cantidad de etapas ideales. Posteriormente, se desarrollaron 8 pruebas buscando reducir el tiempo de congelación, esto con ayuda de una granizadora. (Ver las 20 pruebas en anexos).



Figura 2. Proceso de la tarromaquí con granizadora.

#### ***4.2 Pruebas de crioconcentración en bloque con serpentín.***

Se realizaron 20 pruebas de crioconcentración usando el serpentín, cada prueba realizada con 18 litros de extracto de café obtenido de la planta industrial con concentraciones desde el 13% hasta el 18% de sólidos solubles, este café se deposita en bidones de 18 litros, se monta en la plataforma teniendo el serpentín dentro del bidón para iniciar el proceso de cristalización, el serpentín trabajará con diferentes temperaturas para determinar la óptima, por un tiempo estándar de dos horas; una vez alcanzada la temperatura óptima se establecerá si es el tiempo adecuado.

Las diez primeras pruebas realizadas fueron para determina la temperatura ideal de enfriamiento del serpentín, en donde se trabajó con temperaturas de 0°C, -5°C,-10°C,-15°C y -20°C.

A continuación se mostrará la tabla de toma de datos de la primera prueba realizada:

PRUEBA 1	
Tc [°C]	0
mi [kg]	18
ci [ss]	14,00%
miss [kg]	2,52
tc [horas]	2
mf [kg]	16
cf [ss]	14,30%
mfss[kg]	2,288
$\Delta c$ [ss]	0,30%

Tabla 2. Toma de muestras de concentración con serpentín.

Donde:

*mi: Masa Inicial extracto*      *ci: Concentración inicial del extracto*      *miss: Masa inicial solidos solubles*  
*Tc : Temperatura del serpentín*  
*mf: Masa Final extracto*      *cf: Concentración final del extracto*      *mfss: Masa final solidos solubles*  
*tc: Tiempo de congelación*  
 *$\Delta c$ : Aumento de concentración del extracto (Concentración inicial-Concentración final)*

Las 10 primeras pruebas realizadas fueron para obtener la temperatura óptima, las otras 10 para determinar el tiempo de congelación.



Figura 3. Concentración en bloque con serpentín

Finalmente, con la temperatura que arrojó mejores resultados, se realizarán pruebas modificando el tiempo de congelación, haciendo pruebas con tiempos de 1, 2, 3, 4 y 5 horas, con el fin de determinar el punto óptimo del proceso. (Ver todos los resultados en anexos).

## **5 ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### ***5.1 Concentración en bloque por “Tarromaquia”***

Las variables de interés a analizar son la concentración final total y el tiempo total del proceso, ya que estos son los puntos críticos del proceso, el área de desarrollo requiere disminuir el tiempo de concentración para así reducir el tiempo de entrega de los prototipos, además de tener mayor concentración de sólidos solubles para tener un prototipo más eficiente.

En los resultados obtenidos se puede notar que las pruebas realizadas con tres etapas de concentración, arrojan concentraciones del 32% al 35% de sólidos solubles, en 21 – 24 horas que sería en total dos días de trabajo, además, se obtienen de 7 kg a 10 kg de extracto de café concentrado, que son suficientes para continuar con el proceso, ya que el mínimo valor es de 4 kg de extracto de café concentrado. Las concentraciones obtenidas son las requeridas por el área para seguir con el proceso eficaz de café liofilizado; sin embargo, dos días de trabajo puede ser crítico en los momentos de alta demanda de prototipos.

Los ensayos con cuatro etapas generaron una reducción en el rendimiento de concentración y aumentaron el tiempo, siguen siendo buenas concentraciones de 26% al 30% de sólidos solubles, pero aumentan el tiempo de concentración en 25 horas o 25 horas y media; la cuarta etapa lo que hace es aumentar la cantidad de masa en 11 kg y 14 kg de café concentrado; en esta última etapa se obtiene más extracto de café pero en concentraciones medias, ocasionando así la pequeña reducción en la concentración final.

Las concentraciones con cinco etapas dan como resultado concentraciones de 25% y 26% de sólidos solubles, concentraciones bajas que no permiten continuar con el proceso de producción del prototipo; la quinta etapa de concentración aumentan el proceso a 25 horas y media o 26 horas, y genera de 14 kg a 16 kg de más de extracto de café medianamente concentrado.

El aumentar una sexta etapa en la concentración bajo la eficiencia de concentración considerablemente, se lograron concentraciones de 24% en un tiempo de concentración de 27 horas, este tiempo extendería 3 turnos de trabajo el proceso, además de producir unos 11-14 kg no necesarios de extracto de café poco concentrado.

Al analizar que la cantidad de etapas ideal para un proceso más eficiente es de tres, se realizaron pruebas modificando el tiempo de congelación con ayuda de una granizadora.

En los resultados de la prueba 13 hasta la 20 se encuentran las siguientes características:

El máximo valor de concentración de sólidos solubles fue de 34%, este valor se repitió en las pruebas 15 y 16, en donde su proceso duró 12 horas y 12 horas y media, respectivamente; el valor de concentración entra en el rango estipulado para poder continuar con el proceso de liofilización; en estas pruebas se logró obtener 7.7 kg en la prueba 15 y 10.9 kg en la prueba 6, cantidad suficiente para la requerida.

El menor tiempo logrado fue de 11 horas en la prueba 19, en donde la concentración de sólidos solubles llegó a 32%, valor aceptable para el proceso, además de una cantidad total de extracto de 7.9 kg de café concentrado.

La menor concentración obtenida en estas pruebas fue de 32% de sólidos solubles, valor encontrado en las pruebas 17 y 19, este valor de concentración se debe al tiempo total del proceso, sin embargo son cifras que entran en lo aceptable para la producción del prototipo.

El mayor tiempo de concentración empleado fue de 12 horas y media, tiempo obtenido en las pruebas 16 y 18, donde se alcanzaron concentraciones de 34% y 33%, demostrando que para mayor valor de concentración se requerirá mayor tiempo del proceso, dando como opción un tiempo de congelación de 7 horas y 5 horas y media de descongelación.

En general el proceso de tarro maquia con ayuda de una granizadora para cristalizar obtiene concentraciones del 32% al 34% de sólidos solubles, en tiempos de 11 a 12 horas y media, con cantidades de extracto suficientes para continuar con el ciclo.

## ***5.2 Concentración en bloque con serpentín***

En la primera parte de la prueba de concentración en bloque con serpentín, en donde se variaron las temperaturas de enfriamiento, se analizará, principalmente del delta de concentración, que es el aumento que tuvo la concentración con el proceso realizado, esto debido a que el aumento es mínimo y cualquier valor que suba de concentración es bastante considerable, y la concentración inicial para las pruebas tiene valores muy variables e industrialmente no se conseguirá siempre los mismos valores de concentración inicial.

Las pruebas realizadas con temperatura de 0°C suben máximo 0.4% de sólidos solubles la concentración, obteniendo 17.2 kg de extracto con concentración de 14.7%, un valor insuficiente para la concentración. Estas pruebas infieren que el serpentín necesitará menos temperatura para lograr separar el agua del extracto, y formar cristales mucho más sólidos.

Las concentraciones con serpentín hechas con -5°C se comportan de forma muy similar a las realizadas a 0°C, se logró 15.2 kg de extracto con concentración de 15.4%, aumentó 0.3% la concentración, valor no significativo para las pruebas.

En las pruebas 5 y 6 donde se trabaja con temperatura de enfriamiento de -10°C, se empieza a ver un aumento de concentración de 0.7% y 1.0%, obteniendo 15.4% de concentración de sólidos solubles en 15.2 kg de extracto de café; y 14.9% en 13.9 kg en la prueba 6, a pesar de ser valores

aún pequeños para una concentración final, se le proyecta una tendencia ascendente, una relación inversamente proporcional, a medida se disminuye la temperatura aumenta la concentración.

Los ensayos realizados a  $-15^{\circ}\text{C}$  fueron los de mejor resultado, se logró un aumento de 1.5% de sólidos solubles en la prueba 7 y de 1.1% en la prueba 8, estas concentraciones fueron las mayores alcanzadas bajo las mismas características que las otras 8 pruebas; en la prueba 7 se obtuvo 13.4 kg de extracto con concentración de 15.9% la mayor diferencia de todas las pruebas; en la prueba 8 se logró concentrar 12.9 kg de extracto a 16.7%.

En las últimas pruebas e la primera parte se manejó el serpentín a  $-20^{\circ}\text{C}$ , en donde se logró un aumento de concentración de sólidos solubles de 1.0% y 0.8%, obteniendo así 14.9%.

Analizando lo anteriormente mencionado se concluye que la temperatura que arroja mejores resultados es la de  $-15^{\circ}\text{C}$ , se puede deducir que es la temperatura donde parte del agua se ha transformado en hielo y el extracto se empieza a solidificar atrapando más agua. El extracto crea una capa de aislamiento al serpentín, obstruyendo la vía para la adherencia del agua al enfriador.

Con base en los resultados de las anteriores pruebas se determinara el tiempo óptimo para el proceso realizando pruebas con diferentes horas de duración a la misma temperatura.

Realizando el proceso por dos horas, como en las pruebas anterior, se verifica que a  $-15^{\circ}\text{C}$  se logra un aumento de contracción máximo de 1.5%, en donde 12.9 kg de extracto está en una concentración de 15.9% de sólidos solubles.

Los valores de concentración máximos fueron los de las pruebas 13 y 14, en donde el proceso de desarrolló en 3 horas, esta concentración logró aumentar 2.1% y 2.3% su concentración de solidos solubles, obteniendo finalmente 12.2 kg de extracto concentrado con una concentración de 16.4% para la prueba 13, y 11.8 kg con extracto concentrado a 17.4% en la prueba 14. Determinando así que la duración del proceso debe ser de 3 horas a  $-15^{\circ}\text{C}$ .

Al aumentar el tiempo de congelación el proceso se satura, comprobando lo mencionado anteriormente, al dejarlo más de tres horas la capa adherida al serpentín hace el trabajo de un aislador, reduciendo la intensidad de adherencia y generando bajas concentraciones.



## 6 RECOMENDACIONES

### ***Tarromaquia***

Para el proceso de tarromaquia se recomienda realizar 3 etapas, con el fin de buscar el equilibrio en el tiempo y el rendimiento de la concentración; se sugiere, si es posible, buscar mayor homogeneidad en los valores de concentración inicial para obtener resultados más veraces; hacer un almacenamiento en el cuarto frío mucho más cuidadoso; marcar los frascos utilizados para el proceso, tanto los de congelación del extracto como los recipientes donde éstos se soportan en el periodo de descongelación; en el lugar donde se ejecute el proceso de descongelación se recomienda sanitizar más rigurosamente, ya que es un punto crítico del proceso actual; se supone que al realizar el proceso de descongelación en un lugar con temperaturas ambientales bajas tendrá un mejor resultado; se propone el uso de la granizadora para reducir el tiempo de congelación ya que con base en las pruebas realizadas se evidencia su efectividad.

### ***Crioconcentración con Serpentín***

Para el proceso de concentración en bloque se aconseja manejar el serpentín a  $-15^{\circ}\text{C}$  ya que se demostró que en este valor arroja los mejores resultados; se sugiere, si es posible, buscar mayor homogeneidad en los valores de concentración inicial para obtener resultados más veraces; utilizar bidones de un material que ayude a mejorar la transferencia de calor al fluido; utilizar un sistema de filtrado refrigerado para realizar un filtrado del producto que queda adherido al serpentín; con base en las pruebas realizadas se determina un tiempo de operación de 3 horas, tiempo en el que es considerable el aumento de la concentración; se sugiere a largo plazo modificar el equipo ya que tiene grandes falencias, es un equipo muy pequeño en donde se logra concentrar muy poco extracto a muy bajas concentraciones, recirculando el extracto generará más homogeneidad y dinámica del fluido, obteniendo que mayor cantidad de agua se aglutine en el serpentín y menor cantidad de extracto, utilizar un recipiente cerrado y hermético que evite cualquier invasión de contaminantes, el recipiente debe tener aislamiento al ambiente para reducir los efectos de las altas temperaturas en el proceso.

Se realizó un prototipo con el *Software CAD 3D Autodesk Inventor*, de un equipo con las recomendaciones dadas, no se logró desarrollar el análisis de efectividad y viabilidad; sólo se hizo es bosquejo que se podrá ver en anexos.

## **7 CONCLUSIONES**

- La crioconcentración es el proceso más adecuado para concentrar café de calidad que busque mantener sus cualidades aromáticas y sensoriales, sin embargo es un proceso costoso y dilatado que muy pocas empresas utilizan para la producción de café soluble.
- El proceso de crioconcentración por suspensión es el más utilizado industrialmente, ya que sus equipos de alta complejidad y tecnología dan resultados más homogéneos y replicables, además de ser mucho más eficiente que la concentración en bloque o la concentración por película.
- La concentración en bloque con tarromaquia produce extracto con mayores concentraciones que la concentración en bloque por serpentín, no es viable utilizar en planta piloto el equipo de serpentín sin hacer mejoras ya que no da la concentración necesaria para la elaboración de café liofilizado.
- La tarromaquia se debe hacer en 3 etapas y buscando reducir el tiempo de congelación, es posible usando una granizadora y realizando mejoras a la indumentaria utilizada y a la infraestructura.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

Cafédecolombia.com. (2017). Sobre el café | Café de Colombia. [online] Available at: [http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre\\_el\\_cafe/](http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/)

Cafédecolombia.com. (2017). Sobre el café | Café de Colombia. [online] Available at: [http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre\\_el\\_cafe/el\\_cafe/industrializacion/produccion\\_de\\_cafe\\_soluble](http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/industrializacion/produccion_de_cafe_soluble)

Ing. MSc .Moreno, F (2014). Freeze Concentration Of Coffee Extract: Study Of Block And Fallingfilm Techniques (tesis de Doctor en Biociencia). Universidad de la Sabana, Chía, Colombia.

Moreno, F., Hernandez E., Raventós, M., Robles, C., y Ruiez, Y.(2014). A process to concentrate coffee extract by the integration of falling film and block freeze-concentration. Journal of Food Engineering, 128(1), 88-95.

Villena, I (2014). Caracterización del equipo piloto de crioconcentración de película alimentado con bomba peristáltica y variador de velocidad: ensayos con azúcares básicos.(tesis de Ingeniero en Alimentos).Universidad politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

Galvez, R, & Sierra, L. (2017). *Diseño de un equipo crioconcentrador de jugo de fruta, por bloque, con volumen de entrega de 6litros/hora.* (Tesis de pregrado). Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

## ANEXOS

### *Pruebas de crioconcentración con tarromaquia*

#### Primera Parte

PRUEBA 1					
Etapa	1	Etapa	2	Etapa	3
mi [kg]	21	mi [kg]	19,2	mi [kg]	16,21
ci [ss]	15,10%	ci [ss]	38,80%	ci [ss]	30,80%
miss [kg]	3,171	miss [kg]	7,450	miss [kg]	4,993
tc [horas]	18	tc [horas]	-	tc [horas]	-
td [horas]	2,5	td [horas]	2	td [horas]	1,5
mf [kg]	1,8	mf [kg]	2,99	mf [kg]	4
cf [ss]	38,80%	cf [ss]	30,80%	cf [ss]	28,11%
mfss[kg]	0,6984	mfss[kg]	0,9209	mfss[kg]	1,1244
		Resultados:	PRUEBA 1		
		mft [kg]	8,79		
		tt [horas]	24		
		cf [ss]	33%		
		mfss [kg]	2,7437		

PRUEBA 2					
Etapa	1	Etapa	2	Etapa	3
mi [kg]	21	mi [kg]	19,4	mi [kg]	17
ci [ss]	14,30%	ci [ss]	35,20%	ci [ss]	33,50%
miss [kg]	3,003	miss [kg]	6,829	miss [kg]	5,695
tc [horas]	16	tc [horas]	-	tc [horas]	-
td [horas]	2	td [horas]	1,5	td [horas]	1,5
mf [kg]	1,6	mf [kg]	2,4	mf [kg]	3,5
cf [ss]	35,20%	cf [ss]	33,50%	cf [ss]	27,80%
mfss[kg]	0,5632	mfss[kg]	0,8040	mfss[kg]	0,9730
		Resultados:	PRUEBA 2		
		mft [kg]	7,5		
		tt [horas]	21		
		cf [ss]	32%		
		mfss [kg]	2,3402		

PRUEBA 3					
Etapa	1	Etapa	2	Etapa	3
mi [kg]	21	mi [kg]	18,5	mi [kg]	15,3
ci [ss]	17,30%	ci [ss]	38,80%	ci [ss]	36,00%
miss [kg]	3,633	miss [kg]	7,178	miss [kg]	5,508
tc [horas]	15	tc [horas]	-	tc [horas]	-
td [horas]	2	td [horas]	2	td [horas]	2
mf [kg]	2,5	mf [kg]	3,2	mf [kg]	4,5
cf [ss]	38,80%	cf [ss]	36,00%	cf [ss]	30,10%
mfss[kg]	0,97	mfss[kg]	1,1520	mfss[kg]	1,3545

Resultados:	PRUEBA 3
mft [kg]	10,2
tt [horas]	21
cf [ss]	35%
mfss [kg]	3,4765

PRUEBA 4							
Etapa	1	Etapa	2	Etapa	3	Etapa	4
mi [kg]	21	mi [kg]	19,1	mi [kg]	16	mi [kg]	11,8
ci [ss]	16,20%	ci [ss]	37,10%	ci [ss]	32,10%	ci [ss]	23,20%
miss [kg]	3,402	miss [kg]	7,086	miss [kg]	5,136	miss [kg]	2,738
tc [horas]	17	tc [horas]	-	tc [horas]	-	tc [horas]	-
td [horas]	2,5	td [horas]	2	td [horas]	2	td [horas]	1,5
mf [kg]	1,9	mf [kg]	3,1	mf [kg]	4,2	mf [kg]	5
cf [ss]	37,10%	cf [ss]	32,10%	cf [ss]	23,20%	cf [ss]	20,30%
mfss[kg]	0,7049	mfss[kg]	0,9951	mfss[kg]	0,9744	mfss[kg]	1,0150

Resultados:	PRUEBA 4
mft [kg]	14,2
tt [horas]	25
cf [ss]	28%
mfss [kg]	3,6894

PRUEBA 5							
Etapas	1	Etapas	2	Etapas	3	Etapas	4
mi [kg]	21	mi [kg]	19	mi [kg]	15,5	mi [kg]	11,4
ci [ss]	14,00%	ci [ss]	32,90%	ci [ss]	28,90%	ci [ss]	24,40%
miss [kg]	2,94	miss [kg]	6,251	miss [kg]	4,480	miss [kg]	2,782
tc [horas]	16	tc [horas]	-	tc [horas]	-	tc [horas]	-
td [horas]	2,5	td [horas]	2,5	td [horas]	2	td [horas]	2
mf [kg]	2	mf [kg]	3,5	mf [kg]	4,1	mf [kg]	4,8
cf [ss]	32,90%	cf [ss]	28,90%	cf [ss]	24,40%	cf [ss]	18,30%
mfss[kg]	0,658	mfss[kg]	1,0115	mfss[kg]	1,0004	mfss[kg]	0,8784

Resultados:	PRUEBA 5
mft [kg]	14,4
tt [horas]	25
cf [ss]	26%
mfss [kg]	3,5483

PRUEBA 6							
Etapas	1	Etapas	2	Etapas	3	Etapas	4
mi [kg]	21	mi [kg]	19,4	mi [kg]	16,8	mi [kg]	13,4
ci [ss]	17,20%	ci [ss]	36,60%	ci [ss]	34,20%	ci [ss]	29,80%
miss [kg]	3,612	miss [kg]	7,100	miss [kg]	5,746	miss [kg]	3,993
tc [horas]	18	tc [horas]	-	tc [horas]	-	tc [horas]	-
td [horas]	2,5	td [horas]	2,5	td [horas]	1	td [horas]	1,5
mf [kg]	1,6	mf [kg]	2,6	mf [kg]	3,4	mf [kg]	4
cf [ss]	36,60%	cf [ss]	34,20%	cf [ss]	29,80%	cf [ss]	21,30%
mfss[kg]	0,5856	mfss[kg]	0,8892	mfss[kg]	1,0132	mfss[kg]	0,8520

Resultados:	PRUEBA 6
mft [kg]	11,6
tt [horas]	25,5
cf [ss]	30%
mfss [kg]	3,3400

PRUEBA 7							
Etapas	1	Etapas	2	Etapas	3	Etapas	4
mi [kg]	21	mi [kg]	18,8	mi [kg]	16	mi [kg]	12,3
ci [ss]	15,30%	ci [ss]	36,10%	ci [ss]	30,60%	ci [ss]	27,60%
miss [kg]	3,213	miss [kg]	6,787	miss [kg]	4,896	miss [kg]	3,395
tc [horas]	16	tc [horas]	-	tc [horas]	-	tc [horas]	-
td [horas]	2,5	td [horas]	2,5	td [horas]	2	td [horas]	1,5
mf [kg]	2,2	mf [kg]	2,8	mf [kg]	3,7	mf [kg]	4,4
cf [ss]	36,10%	cf [ss]	30,60%	cf [ss]	27,60%	cf [ss]	19,50%
mfss[kg]	0,7942	mfss[kg]	0,8568	mfss[kg]	1,0212	mfss[kg]	0,8580

Resultados:	PRUEBA 7
mft [kg]	18,4
tt [horas]	26
cf [ss]	26%
mfss [kg]	4,3729

PRUEBA 8									
Etapa	1	Etapa	2	Etapa	3	Etapa	4	Etapa	5
mi [kg]	21	mi [kg]	18,9	mi [kg]	15,4	mi [kg]	11	mi [kg]	5,7
ci [ss]	16,60%	ci [ss]	36,80%	ci [ss]	30,60%	ci [ss]	27,50%	ci [ss]	20,40%
miss [kg]	3,486	miss [kg]	6,955	miss [kg]	4,712	miss [kg]	3,025	miss [kg]	1,163
tc [horas]	15	tc [horas]	-	tc [horas]	-	tc [horas]	-	tc [horas]	-
td [horas]	2,5	td [horas]	2,5	td [horas]	2	td [horas]	2	td [horas]	1,5
mf [kg]	2,1	mf [kg]	3,5	mf [kg]	4,4	mf [kg]	5,3	mf [kg]	4,31
cf [ss]	36,80%	cf [ss]	30,60%	cf [ss]	27,50%	cf [ss]	20,40%	cf [ss]	17,10%
mfss[kg]	0,7728	mfss[kg]	1,0710	mfss[kg]	1,2100	mfss[kg]	1,0812	mfss[kg]	0,7370
				Resultados:	PRUEBA 8				
				mft [kg]	19,61				
				tt [horas]	25,5				
				cf [ss]	26%				
				mfss [kg]	4,8720				

PRUEBA 9									
Etapa	1	Etapa	2	Etapa	3	Etapa	4	Etapa	5
mi [kg]	21	mi [kg]	19	mi [kg]	15,7	mi [kg]	11,2	mi [kg]	5,8
ci [ss]	15,20%	ci [ss]	35,10%	ci [ss]	31,60%	ci [ss]	22,60%	ci [ss]	19,50%
miss [kg]	3,192	miss [kg]	6,669	miss [kg]	4,961	miss [kg]	2,531	miss [kg]	1,131
tc [horas]	16	tc [horas]	-	tc [horas]	-	tc [horas]	-	tc [horas]	-
td [horas]	2,5	td [horas]	2	td [horas]	2	td [horas]	2	td [horas]	1,5
mf [kg]	2	mf [kg]	3,3	mf [kg]	4,5	mf [kg]	5,4	mf [kg]	4,8
cf [ss]	35,10%	cf [ss]	31,60%	cf [ss]	22,60%	cf [ss]	19,50%	cf [ss]	17,60%
mfss[kg]	0,702	mfss[kg]	1,0428	mfss[kg]	1,0170	mfss[kg]	1,0530	mfss[kg]	0,8448
				Resultados:	PRUEBA 9				
				mft [kg]	20				
				tt [horas]	26				
				cf [ss]	25%				
				mfss [kg]	4,6596				

PRUEBA 10									
Etapa	1	Etapa	2	Etapa	3	Etapa	4	Etapa	5
mi [kg]	21	mi [kg]	19,2	mi [kg]	16,7	mi [kg]	12,6	mi [kg]	8
ci [ss]	14,30%	ci [ss]	37,20%	ci [ss]	32,60%	ci [ss]	26,20%	ci [ss]	19,50%
miss [kg]	3,003	miss [kg]	7,142	miss [kg]	5,444	miss [kg]	3,301	miss [kg]	1,560
tc [horas]	14,5	tc [horas]	-	tc [horas]	-	tc [horas]	-	tc [horas]	-
td [horas]	2,5	td [horas]	2	td [horas]	2	td [horas]	2	td [horas]	2
mf [kg]	1,8	mf [kg]	2,5	mf [kg]	4,1	mf [kg]	4,6	mf [kg]	5,1
cf [ss]	37,20%	cf [ss]	32,60%	cf [ss]	26,20%	cf [ss]	19,50%	cf [ss]	14,80%
mfss[kg]	0,6696	mfss[kg]	0,8150	mfss[kg]	1,0742	mfss[kg]	0,8970	mfss[kg]	0,7548
				Resultados:	PRUEBA 10				
				mft [kg]	19,2				
				tt [horas]	27				
				cf [ss]	24%				
				mfss [kg]	4,3701				

PRUEBA 11											
Etapas	1	Etapas	2	Etapas	3	Etapas	4	Etapas	5	Etapas	6
mi [kg]	21	mi [kg]	18,9	mi [kg]	15,7	mi [kg]	11,8	mi [kg]	7,3	mi [kg]	2,1
ci [ss]	15,10%	ci [ss]	35,40%	ci [ss]	32,12%	ci [ss]	26,20%	ci [ss]	24,30%	ci [ss]	17,40%
miss [kg]	3,171	miss [kg]	6,691	miss [kg]	5,043	miss [kg]	3,092	miss [kg]	1,774	miss [kg]	0,365
tc [horas]	15	tc [horas]	-	tc [horas]	-	tc [horas]	-	tc [horas]	-	tc [horas]	-
td [horas]	2,5	td [horas]	2,5	td [horas]	2,5	td [horas]	2	td [horas]	2	td [horas]	0,5
mf [kg]	2,1	mf [kg]	3,2	mf [kg]	3,9	mf [kg]	4,5	mf [kg]	5,2	mf [kg]	0,6
cf [ss]	35,40%	cf [ss]	32,12%	cf [ss]	26,20%	cf [ss]	24,30%	cf [ss]	17,40%	cf [ss]	15,40%
mfss[kg]	0,7434	mfss[kg]	1,0278	mfss[kg]	1,0218	mfss[kg]	1,0935	mfss[kg]	0,9048	mfss[kg]	0,0924

Resultados:	PRUEBA 11
mft [kg]	19,5
tt [horas]	27
cf [ss]	25%
mfss [kg]	4,8837

PRUEBA 12											
Etapas	1	Etapas	2	Etapas	3	Etapas	4	Etapas	5	Etapas	6
mi [kg]	21	mi [kg]	19,4	mi [kg]	17	mi [kg]	13,3	mi [kg]	9,2	mi [kg]	6,9
ci [ss]	14,30%	ci [ss]	36,10%	ci [ss]	33,30%	ci [ss]	27,20%	ci [ss]	23,20%	ci [ss]	16,80%
miss [kg]	3,003	miss [kg]	7,003	miss [kg]	5,661	miss [kg]	3,618	miss [kg]	2,134	miss [kg]	1,159
tc [horas]	15,5	tc [horas]	-	tc [horas]	-	tc [horas]	-	tc [horas]	-	tc [horas]	-
td [horas]	2,5	td [horas]	2	td [horas]	2	td [horas]	2	td [horas]	1,5	td [horas]	1,5
mf [kg]	1,6	mf [kg]	2,4	mf [kg]	3,7	mf [kg]	4,1	mf [kg]	2,3	mf [kg]	1,1
cf [ss]	36,10%	cf [ss]	33,30%	cf [ss]	27,20%	cf [ss]	23,20%	cf [ss]	16,80%	cf [ss]	15,30%
mfss[kg]	0,5776	mfss[kg]	0,7992	mfss[kg]	1,0064	mfss[kg]	0,9512	mfss[kg]	0,3864	mfss[kg]	0,1683

Resultados:	PRUEBA 12
mft [kg]	15,2
tt [horas]	27
cf [ss]	25%
mfss [kg]	3,8891

## Segunda Parte

PRUEBA 13					
Etapas	1	Etapas	2	Etapas	3
mi [kg]	21	mi [kg]	19	mi [kg]	15,9
ci [ss]	14,00%	ci [ss]	36,30%	ci [ss]	33,60%
miss [kg]	2,94	miss [kg]	6,897	miss [kg]	5,342
tc [horas]	4,1	tc [horas]	1	tc [horas]	1,5
td [horas]	2	td [horas]	1,5	td [horas]	1,5
mf [kg]	2	mf [kg]	3,1	mf [kg]	4,2
cf [ss]	36,30%	cf [ss]	33,60%	cf [ss]	29,20%
mfss[kg]	0,726	mfss[kg]	1,0416	mfss[kg]	1,2264

Resultados:	PRUEBA 13
mft [kg]	9,3
tt [horas]	11,6
cf [ss]	33%
mfss [kg]	2,9940



PRUEBA 14					
Etapa	1	Etapa	2	Etapa	3
mi [kg]	21	mi [kg]	18,7	mi [kg]	15,8
ci [ss]	15,30%	ci [ss]	36,90%	ci [ss]	32,70%
miss [kg]	3,213	miss [kg]	6,900	miss [kg]	5,167
tc [horas]	4,5	tc [horas]	1,5	tc [horas]	1,5
td [horas]	2,5	td [horas]	1	td [horas]	1
mf [kg]	2,3	mf [kg]	2,9	mf [kg]	4,2
cf [ss]	36,90%	cf [ss]	32,70%	cf [ss]	29,20%
mfss[kg]	0,8487	mfss[kg]	0,9483	mfss[kg]	1,2264

Resultados: PRUEBA 14	
mft [kg]	9,4
tt [horas]	12
cf [ss]	33%
mfss [kg]	3,0234

PRUEBA 15					
Etapa	1	Etapa	2	Etapa	3
mi [kg]	21	mi [kg]	19,3	mi [kg]	16,7
ci [ss]	14,70%	ci [ss]	37,20%	ci [ss]	34,20%
miss [kg]	3,087	miss [kg]	7,180	miss [kg]	5,711
tc [horas]	5	tc [horas]	1	tc [horas]	1,5
td [horas]	2	td [horas]	1,5	td [horas]	1
mf [kg]	1,7	mf [kg]	2,6	mf [kg]	3,4
cf [ss]	37,20%	cf [ss]	34,20%	cf [ss]	30,50%
mfss[kg]	0,6324	mfss[kg]	0,8892	mfss[kg]	1,0370

Resultados: PRUEBA 15	
mft [kg]	7,7
tt [horas]	12
cf [ss]	34%
mfss [kg]	2,5586

PRUEBA 16					
Etapa	1	Etapa	2	Etapa	3
mi [kg]	21	mi [kg]	17,8	mi [kg]	14
ci [ss]	15,80%	ci [ss]	37,30%	ci [ss]	34,20%
miss [kg]	3,318	miss [kg]	6,639	miss [kg]	4,788
tc [horas]	4,5	tc [horas]	1	tc [horas]	1,5
td [horas]	2,5	td [horas]	1,5	td [horas]	1,5
mf [kg]	3,2	mf [kg]	3,8	mf [kg]	3,9
cf [ss]	37,30%	cf [ss]	34,20%	cf [ss]	31,30%
mfss[kg]	1,1936	mfss[kg]	1,2996	mfss[kg]	1,2207

Resultados:	PRUEBA 16
mft [kg]	10,9
tt [horas]	12,5
cf [ss]	34%
mfss [kg]	3,7139

PRUEBA 17					
Etapa	1	Etapa	2	Etapa	3
mi [kg]	21	mi [kg]	18,7	mi [kg]	15,1
ci [ss]	14,60%	ci [ss]	34,20%	ci [ss]	31,50%
miss [kg]	3,066	miss [kg]	6,395	miss [kg]	4,757
tc [horas]	4,5	tc [horas]	1	tc [horas]	1,5
td [horas]	2,5	td [horas]	1	td [horas]	1
mf [kg]	2,3	mf [kg]	3,6	mf [kg]	4,4
cf [ss]	34,20%	cf [ss]	31,50%	cf [ss]	28,90%
mfss[kg]	0,7866	mfss[kg]	1,1340	mfss[kg]	1,2716

Resultados:	PRUEBA 17
mft [kg]	10,3
tt [horas]	11,5
cf [ss]	32%
mfss [kg]	3,1922

PRUEBA 18					
Etapa	1	Etapa	2	Etapa	3
mi [kg]	21	mi [kg]	18,5	mi [kg]	14,9
ci [ss]	16,00%	ci [ss]	36,80%	ci [ss]	32,50%
miss [kg]	3,36	miss [kg]	6,808	miss [kg]	4,843
tc [horas]	4,5	tc [horas]	1	tc [horas]	1,5
td [horas]	3	td [horas]	1,5	td [horas]	1
mf [kg]	2,5	mf [kg]	3,6	mf [kg]	4,8
cf [ss]	36,80%	cf [ss]	32,50%	cf [ss]	28,80%
mfss[kg]	0,92	mfss[kg]	1,1700	mfss[kg]	1,3824

Resultados:	PRUEBA 18
mft [kg]	10,9
tt [horas]	12,5
cf [ss]	33%
mfss [kg]	3,4724

PRUEBA 19					
Etapa	1	Etapa	2	Etapa	3
mi [kg]	21	mi [kg]	19,4	mi [kg]	16,6
ci [ss]	15,50%	ci [ss]	35,50%	ci [ss]	31,60%
miss [kg]	3,255	miss [kg]	6,887	miss [kg]	5,246
tc [horas]	4	tc [horas]	1,5	tc [horas]	1,5
td [horas]	2	td [horas]	1	td [horas]	1
mf [kg]	1,6	mf [kg]	2,8	mf [kg]	3,5
cf [ss]	35,50%	cf [ss]	31,60%	cf [ss]	28,70%
mfss[kg]	0,568	mfss[kg]	0,8848	mfss[kg]	1,0045

Resultados:	PRUEBA 19
mft [kg]	7,9
tt [horas]	11
cf [ss]	32%
mfss [kg]	2,4573

PRUEBA 20					
Etapa	1	Etapa	2	Etapa	3
mi [kg]	21	mi [kg]	18,4	mi [kg]	14,6
ci [ss]	16,00%	ci [ss]	37,10%	ci [ss]	34,60%
miss [kg]	3,36	miss [kg]	6,826	miss [kg]	5,052
tc [horas]	5	tc [horas]	1	tc [horas]	1
td [horas]	2	td [horas]	1,5	td [horas]	1,5
mf [kg]	2,6	mf [kg]	3,8	mf [kg]	4,6
cf [ss]	37,10%	cf [ss]	34,60%	cf [ss]	27,50%
mfss[kg]	0,9646	mfss[kg]	1,3148	mfss[kg]	1,2650
Resultados:			PRUEBA 20		
mft [kg]			11		
tt [horas]			12		
cf [ss]			33%		
mfss [kg]			3,5444		

### Pruebas de crioconcentración con serpentín

PRUEBA 1	
Tc [°C]	0
mi [kg]	18
ci [ss]	14,00%
miss [kg]	2,52
tc [horas]	2
mf [kg]	16
cf [ss]	14,30%
mfss[kg]	2,288
Δc [ss]	0,30%

PRUEBA 2	
Tc [°C]	0
mi [kg]	18
ci [ss]	14,30%
miss [kg]	2,574
tc [horas]	2
mf [kg]	17,2
cf [ss]	14,70%
mfss[kg]	2,5284
Δc [ss]	0,40%

PRUEBA 3	
Tc [°C]	-5
mi [kg]	18
ci [ss]	15,10%
miss [kg]	2,718
tc [horas]	2
mf [kg]	15,2
cf [ss]	15,40%
mfss[kg]	2,3408
Δc [ss]	0,30%

PRUEBA 4	
Tc [°C]	-5
mi [kg]	18
ci [ss]	14,50%
miss [kg]	2,61
tc [horas]	2
mf [kg]	13,9
cf [ss]	14,90%
mfss[kg]	2,0711
Δc [ss]	0,40%

PRUEBA 5	
Tc [°C]	-10
mi [kg]	18
ci [ss]	13,20%
miss [kg]	2,376
tc [horas]	2
mf [kg]	12,6
cf [ss]	14,20%
mfss[kg]	1,7892
Δc [ss]	1,00%

PRUEBA 6	
Tc [°C]	-10
mi [kg]	18
ci [ss]	16,10%
miss [kg]	2,898
tc [horas]	2
mf [kg]	13,8
cf [ss]	16,80%
mfss[kg]	2,3184
Δc [ss]	0,70%

PRUEBA 7	
Tc [°C]	-15
mi [kg]	18
ci [ss]	14,40%
miss [kg]	2,592
tc [horas]	2
mf [kg]	13,4
cf [ss]	15,90%
mfss[kg]	2,1306
Δc [ss]	1,50%

PRUEBA 8	
Tc [°C]	-15
mi [kg]	18
ci [ss]	15,60%
miss [kg]	2,808
tc [horas]	2
mf [kg]	12,9
cf [ss]	16,70%
mfss[kg]	2,1543
Δc [ss]	1,10%

PRUEBA 9	
Tc [°C]	-20
mi [kg]	18
ci [ss]	13,90%
miss [kg]	2,502
tc [horas]	2
mf [kg]	11,5
cf [ss]	14,90%
mfss[kg]	1,7135
Δc [ss]	1,00%

PRUEBA 10	
Tc [°C]	-20
mi [kg]	18
ci [ss]	14,80%
miss [kg]	2,664
tc [horas]	2
mf [kg]	12,8
cf [ss]	15,60%
mfss[kg]	1,9968
Δc [ss]	0,80%

PRUEBA 11	
Tc [°C]	-15
mi [kg]	18
ci [ss]	14,20%
miss [kg]	2,556
tc [horas]	2
mf [kg]	13,1
cf [ss]	15,40%
mfss[kg]	2,0174
Δc [ss]	1,20%

PRUEBA 12	
Tc [°C]	-15
mi [kg]	18
ci [ss]	14,40%
miss [kg]	2,592
tc [horas]	2
mf [kg]	12,9
cf [ss]	15,90%
mfss[kg]	2,0511
Δc [ss]	1,50%

PRUEBA 13	
Tc [°C]	-15
mi [kg]	18
ci [ss]	14,30%
miss [kg]	2,574
tc [horas]	3
mf [kg]	12,2
cf [ss]	16,40%
mfss[kg]	2,0008
Δc [ss]	2,10%

PRUEBA 14	
Tc [°C]	-15
mi [kg]	18
ci [ss]	15,10%
miss [kg]	2,718
tc [horas]	3
mf [kg]	11,8
cf [ss]	17,40%
mfss[kg]	2,0532
$\Delta c$ [ss]	2,30%

PRUEBA 15	
Tc [°C]	-15
mi [kg]	18
ci [ss]	14,80%
miss [kg]	2,664
tc [horas]	4
mf [kg]	11,3
cf [ss]	16,30%
mfss[kg]	1,8419
$\Delta c$ [ss]	1,50%

PRUEBA 16	
Tc [°C]	-15
mi [kg]	18
ci [ss]	15,20%
miss [kg]	2,736
tc [horas]	4
mf [kg]	10,4
cf [ss]	17,20%
mfss[kg]	1,7888
$\Delta c$ [ss]	2,00%

PRUEBA 17	
Tc [°C]	-15
mi [kg]	18
ci [ss]	14,60%
miss [kg]	2,628
tc [horas]	5
mf [kg]	10,1
cf [ss]	16,40%
mfss[kg]	1,6564
$\Delta c$ [ss]	1,80%

PRUEBA 18	
Tc [°C]	-15
mi [kg]	18
ci [ss]	15,60%
miss [kg]	2,808
tc [horas]	5
mf [kg]	9,3
cf [ss]	17,10%
mfss[kg]	1,5903
$\Delta c$ [ss]	1,50%

PRUEBA 19	
Tc [°C]	-15
mi [kg]	18
ci [ss]	14,70%
miss [kg]	2,646
tc [horas]	1
mf [kg]	16,3
cf [ss]	16,70%
mfss[kg]	2,7221
$\Delta c$ [ss]	2,00%

PRUEBA 20	
Tc [°C]	-15
mi [kg]	18
ci [ss]	15,40%
miss [kg]	2,772
tc [horas]	1
mf [kg]	14,9
cf [ss]	17,30%
mfss[kg]	2,5777
$\Delta c$ [ss]	1,90%

## BOSQUEJO DE PROTOTIPO PARA CRIOCONCENTRACIÓN CON SERPENTÍN

